Zusammenfassung HF I

Maxwell'sche Gleichungen

Induktionsgesetz: $\oint \vec{E}\, d\vec{s} = -\frac{d\phi_{mag}}{dt}$ mit $\phi_{mag} = \iint \vec{B}\, d\vec{A} = \iint \mu_0\mu_r \vec{H}\, d\vec{A}$ $\rightarrow$

$$\boxed{\oint \vec{E}\, d\vec{s} = -\iint \mu_0\mu_r \frac{d\vec{H}}{dt}\, d\vec{A}}$$
$$\boxed{\operatorname{rot} \vec{E} = -\mu_0\mu_r \frac{d\vec{H}}{dt}}$$

komplex: $\operatorname{rot} \vec{E} = -j\omega\mu_0\mu_r \vec{H}$

Durchflutungsgesetz: $\oint \vec{H}\, d\vec{s} = i_{ges}$ mit $i_{ges} = i_L + i_V$ $\left(j_V = \frac{d\vec{D}_n}{dt} = \varepsilon_0\varepsilon_r \frac{d\vec{E}}{dt},\quad j_L = \kappa \cdot \vec{E} \right)$ $\rightarrow$

$$\boxed{\oint \vec{H}\, d\vec{s} = \iint \left(\kappa \vec{E} + \varepsilon_0\varepsilon_r \frac{d\vec{E}}{dt}\right) d\vec{A}}$$
$$\boxed{\operatorname{rot} \vec{H} = \kappa \vec{E} + \varepsilon_0\varepsilon_r \frac{d\vec{E}}{dt}}$$

komplex: $\operatorname{rot} \vec{H} = (\kappa + j\omega\varepsilon_0\varepsilon_r)\vec{E}$

Folgerungen f. Randbedingungen:

Grenzfläche zweier Medien: $\boxed{E_{t_I} = E_{t_{II}}}$ (kein Doppelschicht)
$\boxed{H_{t_I} = H_{t_{II}}}$ (keine Flächenströme)

Grenzfläche Isolator – Leiter: $E_{t_{Ix}} = 0$
$H_n = 0$

Quellen, Quellenfreiheit:

$\oiint \mu_0\mu_r \vec{H}\cdot d\vec{A} = 0$ $\quad \oiint \vec{D}\, d\vec{A} = \int \rho\, dV$

$\operatorname{div}(\mu_0\mu_r \vec{H}) = 0$ $\quad \operatorname{div} \vec{D} = \rho$

$$\boxed{\mu_0\mu_{r1} H_{1n} = \mu_0\mu_{r2} H_{2n} \quad (B_{1n} = B_{2n})}$$
$$\boxed{\varepsilon_0\varepsilon_{r1} E_{1n} = \varepsilon_0\varepsilon_{r2} E_{2n} \quad (D_{1n} = D_{2n})}$$

(keine Flächenladungen)

Kontinuitätsgleichung: $\boxed{\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{j}_L = 0}$

Ebene Wellen im freien Raum

Einfachste Lsg. d. Maxwell'schen Gleichungen: Annahme: $\vec{E} = E_y \cdot \vec{e}_y$ $\rightarrow$ $\vec{H} = H_x \vec{e}_x$ mit $H_x = \frac{-j}{\omega\mu_0}\frac{\partial E_y(z)}{\partial z}$

bzw. $E_y = -\frac{j}{\omega\varepsilon_0}\frac{\partial H_x(z)}{\partial z}$

$\rightarrow$ Wellengleichung: $\boxed{\frac{\partial^2}{\partial z^2} E_y + \underbrace{\omega^2\mu_0\varepsilon_0}_{\beta^2} E_y = 0}$ Skizze

$\beta^2 \rightarrow \beta = \omega\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}$ ... Phasenkonstante

Allg. Lsg.: $E_y = E_h \cdot e^{-j\beta_0 z} + E_r e^{j\beta_0 z}$

Momentanwerte: $e_y(t) = \operatorname{Re}\{E_y \cdot e^{j\omega t}\}$

$E_h = |E_h| \cdot e^{j\varphi_h}$

$E_r = |E_r| \cdot e^{j\varphi_r}$

Phasengeschwindigkeit: $v_{ph} = \frac{\omega}{\beta}$ $\left(= \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} = \frac{1}{c_0} \right)$

Wellenlänge: $\lambda_0 = v_{ph} \cdot T = \frac{v_{ph}}{f}$ $\qquad \lambda_0[m] = \frac{300}{f(MHz)}$

Phasenkonstante: $\beta_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0}$

Feldwellenwiderstand: $H_{-x} = -H_x = \underbrace{\frac{\beta_0}{\omega\mu_0}}\left(E_h \cdot e^{-j\beta_0 z} - E_r \cdot e^{j\beta_0 z}\right)$

$Z_{F_0} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 120\pi\ \Omega$

Leitungswelle

Streifenleitung:
- Einbringen von idealen Leitern in Maxwell-Gleichungen
- Streufelder: (i) vernachlässigbar für $b \ll a$
  (ii) durch $a\uparrow$ berücksichtigen
- Spannung: $U = E_y \cdot b$
- Strom: $I = H_x \cdot a$ $\left(\xrightarrow{allg.} \vec{J}_F = \vec{n} \times \vec{H}\ (\text{Oberfl.})\right)$
- Leitungswellenwiderstand: $Z_L = Z_{F_0} \cdot \frac{b}{a}$

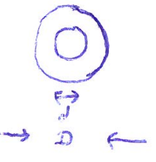
Leistungsdichte: $P = \frac{1}{2}\operatorname{Re}\{U \cdot I^*\} = \frac{1}{2}\, ab \operatorname{Re}\{E_y H_{-x}^*\}$

$\hookrightarrow \vec{S} = \frac{1}{2}\operatorname{Re}\{E \times H^*\}$

Allg. Leitungsquerschnitt: $q = x + jy \xrightarrow[\text{Abb.}]{\text{konform}} w = u + jv$

$dw = \frac{dw}{dq} dq = w' dq$

Bsp: Koax-Ltg.:



$E_y = \frac{dU}{dy} = \frac{U}{b} = \text{const.}$

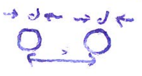
$E_{y*} = \frac{dU}{dy*} = \frac{dU}{dy}\frac{dy}{dy*} \rightarrow E_{y*} = \frac{E_y}{|w'|}$

analog: $H_{-x*} = \frac{H_{-x}}{|w'|}$

Spg.: $U_* = U$
Strom: $I_* = I$ $\Big\}\ Z_{L*} = Z_L$

Leitungswellenwiderstand: $Z_L = \frac{60\Omega}{\sqrt{\varepsilon_r}} \ln\frac{D}{d}$

Bsp: Doppelleitung:

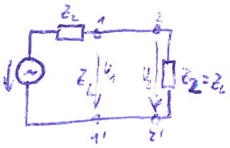


Leitungswellenwiderstand: $Z_L = Z_{F_0} \frac{\ln\left(\frac{s}{d} + \sqrt{\left(\frac{s}{d}\right)^2 - 1}\right)}{\pi\sqrt{\varepsilon_r}}$

$\beta l = 2\pi f \frac{l}{v_p} = 2\pi f \tau$

Verlustlose Leitung bei Anpassung:
- $U; I$ TEM-Wellen
- $U = U_h \cdot e^{-j\beta z}$

  $I = \frac{1}{Z_L} U_h e^{-j\beta z}$



$Z_2 = Z_L \rightarrow U_1 = \frac{1}{2} U_0$

$U_2 = U_1 e^{-j\beta l} = \frac{1}{2} U_0 e^{-j 2\pi f \tau}$

$\downarrow \mathcal{F}$

$u_2(t) = \frac{1}{2} U_0 (t - \tau)$

Verlustlose, fehlangepasste Leitung:
- $Z_2 \neq Z_L \rightarrow U = U_h e^{-j\beta z} + U_r e^{j\beta z}$, $I = \frac{U_h}{Z_L} e^{-j\beta z} - \frac{U_r}{Z_L} e^{j\beta z}$

  $\hookrightarrow \frac{U_2}{I_2} = Z_L \frac{1 + \frac{U_r}{U_h}}{1 - \frac{U_r}{U_h}} = Z_2$

- Reflexionsfaktor: $r = \frac{U_r}{U_h} \rightarrow r_2 = r(z=0) = \frac{Z_2/Z_L - 1}{Z_2/Z_L + 1}$ $\quad r_1 = r(z=-l) = r_2 \cdot e^{-2j\beta l}$

  - $|r_2| \leq 1$ für passive Z_2
  - $|r_1| = |r_i|$
  - $\Delta\varphi = 2\beta l$

  $r_i = \frac{\frac{Z_i}{Z_L} - 1}{\frac{Z_i}{Z_L} + 1}$

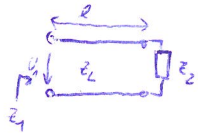
- Smith-Diagramm: $r = \frac{Z/Z_L - 1}{Z/Z_L + 1} = \frac{\zeta - 1}{\zeta + 1} = 1 - \frac{2}{\zeta + 1}$

  konforme Abbildung

- Impedanztransformation: $U_1 = U_2 \left(\cos(\beta l) + j \frac{Z_L}{Z_2} \sin(\beta l)\right)$

  $I_1 = I_2 \left(\cos(\beta l) + j \frac{Z_2}{Z_L} \sin(\beta l)\right)$

  $\hookrightarrow Z_1 = Z_2 \frac{1 + j \frac{Z_L}{Z_2} \tan(\beta l)}{1 + j \frac{Z_2}{Z_L} \tan(\beta l)}$

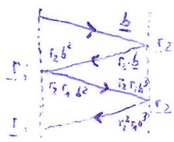


$\lambda/2$-Leitung: $r_1 = r_2 e^{-j 4\pi \frac{l}{2}} = r_2 \rightarrow Z_1 = Z_2$

$\lambda/4$-Leitung: $r_1 = \; --- \; = -r_2 \rightarrow \frac{Z_1}{Z_L} = \frac{Z_L}{Z_2} = \frac{Y_2}{Y_L}$

$\hookrightarrow$ Admittanz $\leftrightarrow$ Impedanz (Impedanzinverter)

- Sequ. Reflexion: $r(0) = \frac{r_2 b + r_2^2 r_i b^3 + r_2 r_i b^5 + \dots}{b + r_2 r_i b^3 + r_2^2 r_1^2 b^5 + \dots} = r_2$



$\underline{b} = e^{-j\beta l}$

$U_1 = U_0 k \cdot \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} (r_2 r_i b^2)^n + r_2 b^2 \sum_{n=0}^{\infty} (r_2 r_i b^2)^n \right\}$

$= U_0 k \frac{1 + r_2 b^2}{1 - r_2 r_i b^2} \rightarrow k = \frac{Z_L}{Z_i + Z_L} = \frac{1}{2}(1 - r_i)$

$\hookrightarrow U_1 = U_0 \frac{(1 - r_i)(1 + r_i)}{2(1 - r_1 r_i)} = U_0 \frac{Z_1}{Z_i + Z_1}$

- PddW: $\left| \frac{I_1}{I_n} \right| = \sqrt{\frac{R_n}{R_1}}$ $\quad \left| \frac{U_1}{U_n} \right| = \sqrt{\frac{G_n}{G_1}}$

  $R_a = R_{min} = \frac{1}{G_{max}} \Rightarrow |U|_{min}, |I|_{max}$

  $R_{max} = \frac{1}{G_{min}} \Rightarrow |U|_{max}, |I|_{min}$

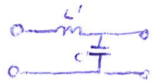
- Stehwellenverhältnis: $s = \frac{|U|_{max}}{|U|_{min}} = \sqrt{\frac{G_{max}}{G_{min}}} = \sqrt{\frac{R_{max}}{R_{min}}} = \frac{|U_h| + |U_r|}{|U_h| - |U_r|} = \frac{1 - |r|}{1 + |r|} = \frac{R_{max}}{Z_L}$

  - Anpassungsfaktor: $m = \frac{1}{s}$

  $\frac{|U|_{max}}{|I|_{max}} = \frac{|U|_{min}}{|I|_{min}} = Z_L$

- Wirkleistungstransport: $P = \frac{|U_h|^2}{2 Z_L} \left(1 - |r|^2\right) = \frac{|U_h|^2}{2 Z_L} - \frac{|U_r|^2}{2 Z_L}$

- Kapazitäts-/Induktivitätsbelag: $L' = \frac{Z_L}{v_p}$ $\quad C' = \frac{1}{Z_L \cdot v_p}$



- Skineffekt: Eindringtiefe: $\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \kappa}}$ $\quad R' = \frac{1}{\pi \kappa \delta}\left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D}\right)$

  $\delta_{Cu} = \frac{66}{\sqrt{f[MHz]}}$

  $\hookrightarrow E_z(y) = E_z(0) \cdot e^{-y/\delta} \cdot e^{j y/\delta}$

  $\hookrightarrow J_z(y) = \kappa \cdot E_z(y)$

  Oberflächenimpedanz: $Z = \overbrace{(1+j) \cdot \frac{1}{\underbrace{\kappa \cdot \delta}_{\sqrt{\omega \mu}}}}^{Z_\square} \frac{\Delta z}{a}$ (Formeln gelten auch, wenn Oberflächenkrümmung im Vgl. zu $\frac{1}{\delta}$ vernachlässigbar ist)

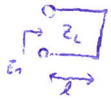
Verlustbehaftete Leitungen:

$$\tilde{Z}_L = \sqrt{\frac{L'(1+\frac{R'}{j\omega L'})}{C'(1+\frac{G'}{j\omega C'})}} \qquad \tilde{\beta} = \omega\sqrt{\tilde{L}'\tilde{C}'} = \omega\sqrt{L'C'} - j\left(\frac{R'}{2\sqrt{\frac{L'}{C'}}} + \frac{G'}{2\sqrt{\frac{L'}{C'}}}\right)$$

$$R' = \frac{1}{\kappa\delta\pi}\left(\frac{1}{d}+\frac{1}{D}\right) \qquad \alpha = \frac{R'}{2Z_L}\ [Np] \qquad = \beta - j\alpha \quad (\alpha \sim \sqrt{f})$$

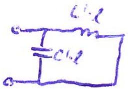
Konzentrierte Bauelemente

Induktivitäten:



$$Z_1 = j\cdot Z_L \tan(\beta l) = j\cdot \underbrace{Z_L\cdot\tan\left(\frac{\omega}{v_p}l\right)}_{X} \underset{\beta l\ll 1}{\overset{(l\text{ sehr klein})}{\approx}} jZ_L\cdot\frac{\omega}{v_p}l = j\omega L'\cdot l$$

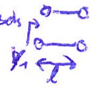
Einfachstes ESB:



(Jede Induktivität hat stets eine Parallelkapazität, die L größer erscheinen lässt: $X > \omega L$)

Kapazitäten

Einfach: P o—

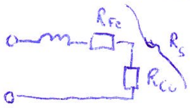


$$Y = j\underbrace{\frac{1}{Z_L}\tan(\beta l)}_{B} \approx \cancel{\sqrt{\tfrac{C'}{L'}}\,\omega\sqrt{C'L'}\,l}\ j\omega C' l$$

$$Y_1 = j\frac{l\,\omega}{Z_L v_P}$$

(bzw. $C = \frac{l}{Z_L v_P}$)

Berücksichtigung d. Verluste:



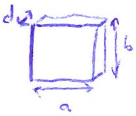
- Verluste im Ferrit und Cu-Verluste (Skineffekt)
  ↳ $\tilde{Z} = j\omega\tilde{L} = j\omega L + \omega L\tan\delta_\mu$
- Güte: $Q_L = \frac{\omega L}{R_S}$. Verlustfaktor: $\tan\delta_L = \frac{1}{Q_L}$ (Verlustwinkel)
- $Z_L = j\omega L + R_S \rightarrow Y = \frac{R_S - j\omega L}{R_S^2 + (\omega L)^2} \approx \underbrace{\frac{R_S}{(\omega L)^2}}_{G_P} - j\frac{1}{\omega L}$ (Seriell-Parallel-Trafo)

$\Rightarrow$

$G_P = \frac{1}{R_P}$

$R_P\cdot R_S = (\omega L)^2 = |X|^2$

Wirkwiderstände:



$$\left.\begin{aligned} U &= E_y\cdot b \\ I &= H_x\cdot a\end{aligned}\right\}\ Z = \underbrace{\frac{E_y}{H_x}}_{Z_F}\cdot\frac{b}{a}$$

(nur frequ.-unabhängig, wenn Skineffekt vernachlässigt wird: $d < \delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\kappa}}$)

Anwendung: 377Ω-Folie: $R = \frac{b}{a d \kappa} \rightarrow R_\square = \frac{1}{d\kappa}$

↳ Salisbury screen:

$R_F = Z_{F0}$, $\lambda/4$, $\kappa\to\infty$ $\Leftrightarrow$ $\lambda/4$, KS $\Rightarrow$ LL

Resonanzschaltungen

Einfache Resonanzschaltungen aus konzentrierten Elementen:

- Resonanz $\hat{=}\ U_{max} / I_{max}$, $\text{Im}\{Z\} = 0$
- Dualität: $U \Leftrightarrow I$, $Z \Leftrightarrow Y$, $C \Leftrightarrow L$ (in Praxis: öfter Parallel-SK)

physik. Bedeutung d. Güte:

$$\frac{\omega_R W_{max}}{\ldots} = \frac{\omega_R C}{G_n} = \frac{B_R}{G_n} = Q_L$$

unbelastete Güte: $Q_U = \frac{\omega_R W_{max}}{P_V} = \frac{B_R}{G_V}$

Mehrfachresonanzen:

für X gilt:

*) $\frac{dX}{df} > 0$ — Verlustloses ZP
*) abwechselnd Seriell-/Parallel-Schaltung
*) N Blindwiderstände $\rightarrow N-1$ Resonanzen
*) $N-1$ Resonanzen bei abwechselnder Verwendung von L & C in abwechselnder S.-/P.-Schaltung

Leitungsresonatoren:

$$U(z) = U_h\left(e^{j\beta z} - e^{-j\beta z}\right) = 2jU_h\sin(\beta l)$$

$$I(z) = \frac{2U_h}{Z_L}\cos(\beta l)$$

↳ $Z_1 = jZ_L\tan\left(\frac{2\pi}{v_p}f\,l\right) = jX \sim f$

$Z_1(f_R) \overset{!}{=} 0 \rightarrow l = \frac{\lambda_R}{4}$

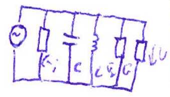
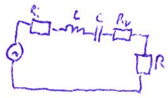
i.d. Nähe von f_R: Verhalten wie Parallel-SK: $B_R = \frac{\pi}{4}Y_L$

analog mit LL: $X_R = \frac{\pi}{4}Z_L$

Güte:

Q

Schwingkreise

Parallel-SK	Reihen-SK
	
$Y_k = G_k + j\omega C - \frac{j}{\omega L}$	$Z_k = R_k + j\omega L - \frac{j}{\omega C}$
$= G_k + jB_R\left(\frac{f}{f_R} - \frac{f_R}{f}\right)$	$= R_k + j\underbrace{X_R\left(\frac{f}{f_R} - \frac{f_R}{f}\right)}_{x}$
$B_R = \sqrt{\frac{C}{L}} = \omega_R C = \frac{1}{\omega_R L}$	$X_R = \sqrt{\frac{L}{C}} = \omega_R L = \frac{1}{\omega_R C}$

$$\boxed{f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}}$$

$Q_k = \frac{B_R}{G_k}$	$Q_k = \frac{X_R}{R_k}$ … Kreisgüte
$Y_k = G_k\Big(1 + j\underbrace{Q_k\left(\frac{f}{f_R} - \frac{f_R}{f}\right)}_{F}\Big)$	$Z_k = R_k\Big(1 + jQ_k\underbrace{\left(\frac{f}{f_R} - \frac{f_R}{f}\right)}_{}\Big)$ F … Normierte Verstimmung
$Q_U = \frac{B_R}{G_V}$	$Q_U = \frac{X_R}{R_V}$ … unbelastete Güte
$\frac{U}{U_{max}} = \frac{G_k}{Y_k}$	$\frac{I}{I_{max}} = \frac{R_k}{Z_k}$

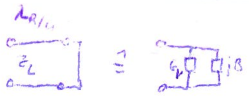
$$\frac{1}{1+jF} \Rightarrow \frac{P}{P_{max}} = \frac{1}{1+F^2}$$

Schmalband-Näherung: $F \approx Q_k\frac{2\Delta f}{f_R} = \frac{2\Delta f}{b_k}$

$\frac{b_k}{f_R} = \frac{f_o - f_u}{f_R} = \frac{1}{Q_k}$ … Bandbreite

Verlust, Güte: $G_V = \gamma_L{}^2 R' \frac{\lambda_R}{8}$

unbelastete Güte: $Q_U = \frac{2\pi}{\gamma_L R' \lambda_R} = \frac{\pi}{\alpha \lambda_R} \sim \sqrt{f}$



Ankopplung von Resonatoren: (i) direkter Anschluss:

$Q_R = \frac{B_R}{G_i + G_V + G}$

$Y_L = \frac{1}{50\Omega} \ldots \frac{1}{150\Omega} \Rightarrow Q_L \downarrow\downarrow$ ⇒

(ii) kapazitive K.:

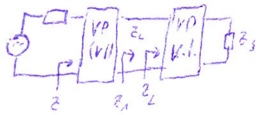
$\frac{1}{\omega C_K} \gg R \Rightarrow$

$G_p = R(\omega C_K)^2$ (K<<W

Transformationsschaltungen

Anpassung: *) Leistungsanpassung ($Z = Z_i^*$)

*) Wellenwiderstands-A. ($Z_2 = Z_L$)



bei Fehlanpassung: ($Z_1 = Z_L$) $r = \frac{Z - Z_L}{Z + Z_L}$ $\quad p = \frac{P}{P_{max}} = 1 - |$

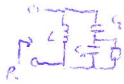
Schmalband-Schaltungen:

Konzentr. Bauelemente: → Smith-Diagramm

Wahl d. Trafo-Weges: *) geringe Verluste → kurze Wege

*) natürl. Schaltung → L_S, C_P

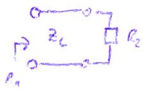
Resonanz-Transformation:



$R = R_1 \left(1 + \frac{C_1}{C_2}\right)^2$ bzw.

$R = R_1 \left(1 + \frac{L_2}{L_1}\right)^2$

Leitungsschaltungen:



$R_1 = \frac{Z_L^2}{R_2}$

Breitband-Schaltungen

Physikal. Grenzen: Aufgabe: Trafo innerhalb v. Frequ.-Bereich

Prinzip d. Kompensation: Frequ.-Abhängigkeit von Z reduzieren (in gewissen Frequ.-Bereich)

(nur Rechtsschleifen)

Einfache Schaltungen:

$Z \hat{=} R$

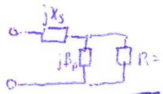
Grundregeln: *) Parallel- durch Serienblindkompensation (und umgekehrt)

*) X_S und B_P müssen identische $F(f)$ aufweisen

L ⟷ C, Serienkreis ⟷ Parallelkreis

*) nur für $|F| \leq 1$

R mit Parallel-Blind-Komponente: $\boxed{B_P \hat{=} G \cdot F(f)} = \frac{1}{R} F(f)$

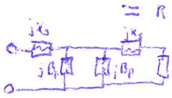


$Z = \frac{1}{G + jB_P} + jX_S = \frac{1}{G(1+jF)} + jX_S$

$\overset{|F|<1}{=} R(1 - jF - F^2 \ldots) + jX_S \rightarrow \boxed{X_S = RF}$

$R = \sqrt{\frac{L_S}{C_P}}$

Symmetr. Kompensation:



mit $B_P = \frac{1}{R} F \quad X_S = R \cdot F$

TP-Kompensation:

$F \geq 0$

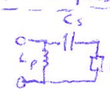
Z liegt für $0 \leq F \leq 1$ nahe an R

$X_S = RF = \omega L_S \rightarrow F = \frac{\omega L_S}{R}$

$B_P = \frac{1}{R} F = \omega C_P \rightarrow F = \omega R C_P$

$R = \sqrt{\frac{L_S}{C_P}}$

HP-Kompensation:



$F \leq 0$

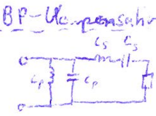
Z liegt für $-1 \leq F \leq 0$ nahe an R

$X_S = RF = -\frac{1}{\omega C_S} \rightarrow F = -\frac{1}{\omega R C_S}$

$B_P = \frac{1}{R} F = -\frac{1}{\omega L_P} \rightarrow F = -\frac{R}{\omega L_P}$

$R = \sqrt{\frac{L_P}{C_S}}$

BP-Kompensation:



$f_{RS} = f_{RP} = f_R$

$X_S = R \cdot F = X_R \left(\frac{f}{f_R} - \frac{f_R}{f}\right) \rightarrow F = \frac{X_R}{R}(\ldots)$

$B_P = \frac{1}{R} F = B_R \left(\frac{f}{f_R} - \frac{f_R}{f}\right) \rightarrow F = B_R \cdot R (\ldots)$

$R = \sqrt{\frac{X_R}{B_R}} = \sqrt{\frac{L_S}{C_P}}$

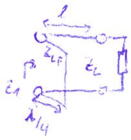
$X_R = \omega_R L_S = \frac{1}{\omega_R C_S}$

$B_P = \omega_R C_P = \frac{1}{\omega_R L_P}$

Zusammenfassung HF I

Transformations-Schaltungen

Leitungsschaltungen



$\Leftrightarrow$

$$l = \frac{\lambda}{4} \Rightarrow Z_1^* = R_1 = \frac{Z_L^2}{R_2}$$

$$l \neq \frac{\lambda}{4}: \quad Z_1 \approx R_1 + j\left(Z_L - \frac{Z_L^2}{R_2^2}\right)\frac{\pi}{4}\,\frac{2\Delta f}{f_m}$$